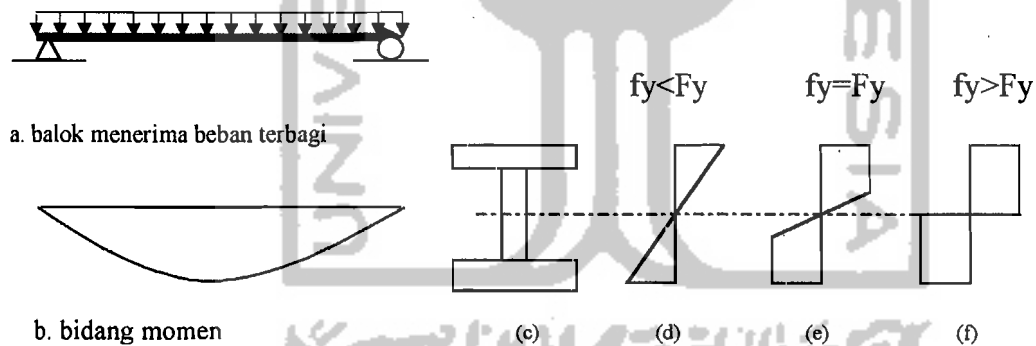


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan.

Menurut J.E.Bowles (1985) komponen struktur yang mengalami lentur banyak dijumpai sebagai balok ataupun gelagar. Salah satu contoh struktur yang mengalami lentur adalah balok sederhana (*simple beam*) yang mempunyai penampang berbentuk I menerima beban terbagi merata. Akibat beban tersebut balok menerima momen dan gaya geser.



Gambar 3.1 Tegangan lentur balok (J.E. Bowles)

Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.1 d), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser. Dalam keadaan penampang masih elastis (Gambar 3.1d), distribusi tegangan lentur pada penampang balok adalah linier. Tegangan pada serat yang letaknya y dari sumbu netral adalah:

$$fb = \pm \frac{M.y}{I} \quad (3.1)$$

dengan M = momen pada penampang yang ditinjau, y = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral, I = momen inersia

Tegangan lentur maksimum terjadi pada serat terluar yaitu serat yang letaknya terjauh dari sumbu netral. Jika penampang balok simetris dan jarak serat terluar dinyatakan dengan C , maka tegangan maksimumnya adalah:

$$fb = \pm \frac{M.C}{I} \quad (3.2a)$$

karena $I/C = S$, persamaan 3.2 dapat ditulis dalam bentuk

$$fb = \pm \frac{M}{S} \quad (3.2b)$$

Dari persamaan (3.2a) dapat dilihat bahwa jika momen inersia balok diperbesar maka tegangan maksimum yang terjadi diserat terluar balok akan menjadi kecil sehingga momen yang mampu ditahan oleh balok akan meningkat.

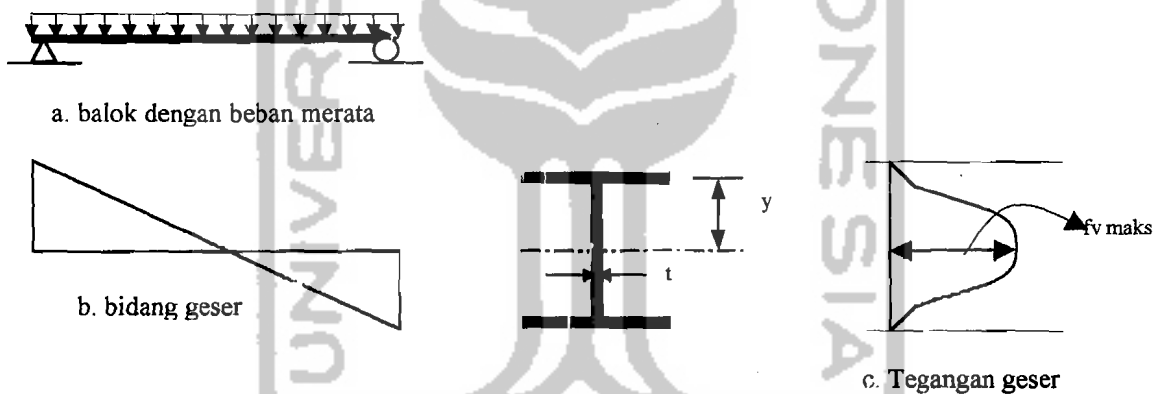
Jika beban terus bertambah maka tegangan lentur maksimum yang terjadi akan bergerak ke sisi dalam dari penampang seperti terlihat pada Gambar 3.1e, penampang dalam keadaan ini disebut kondisi inelastic. Jika seluruh serat mengalami tegangan maksimum maka penampang disebut dalam keadaan plastis (Gambar 3.1f).

Pada profil I sayap berfungsi untuk menahan momen dan badan berfungsi menahan geser dan sebagian momen selain itu badan juga berfungsi menghubungkan sayap atas dan sayap bawah sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh.

Pada profil castella terdapat lubang pada badan profil sehingga gaya geser yang terjadi pada badan perlu mendapat perhatian yang cukup. *J.E Bowles(1981)* mengemukakan rumus umum yang sering digunakan untuk menghitung tegangan geser adalah

$$f_v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad (3.3)$$

dengan V = gaya geser, Q = momen statis dimana tegangan geser ditinjau $=A \cdot y$ (A = luas penampang, y = jarak ke garis netral), t = tebal profil, I =momen inersia.



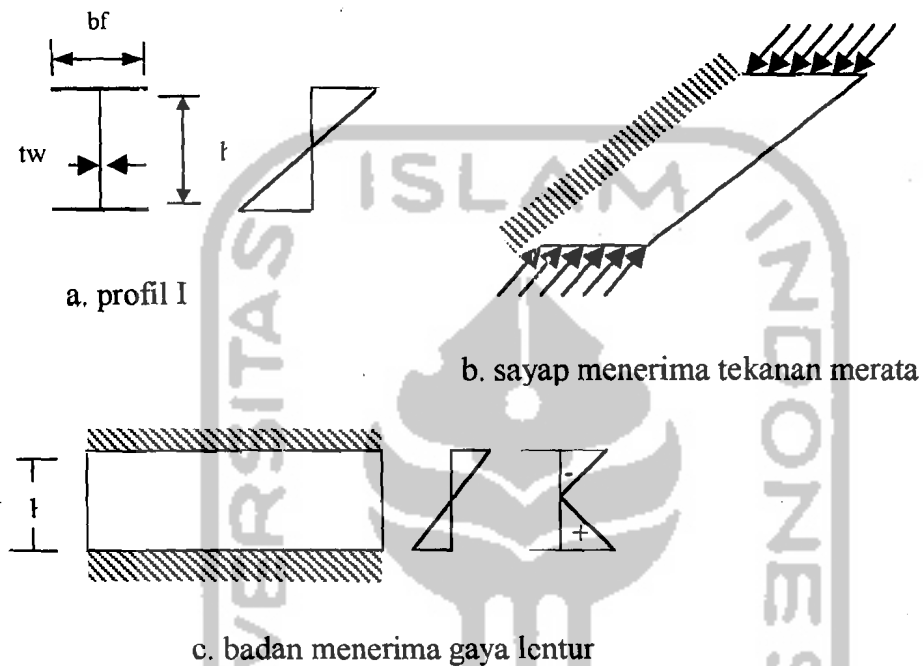
Gambar 3.2 tegangan geser

Dari Persamaan 3.3 dan gambar 3.2 c terlihat bahwa tegangan geser maksimum terjadi pada sumbu netral profil I

3.2. Tegangan Kritis Pelat

Profil baja penampang I disusun dari elemen sayap dan elemen badan yang terbuat dari pelat yang tipis, sehingga apabila pelat menerima gaya tekan, gaya lentur atau geser rawan terhadap tekuk.

Sayap pada profil I akibat tegangan lentur dapat diasumsikan menerima gaya tekan merata (gambar 3.3b) sedang badan menerima gaya lentur (Gambar 3.3c)



Gambar 3.3 Gaya pada profil I

3.2.1. Tegangan Kritis Pelat Yang menerima Tekanan Merata

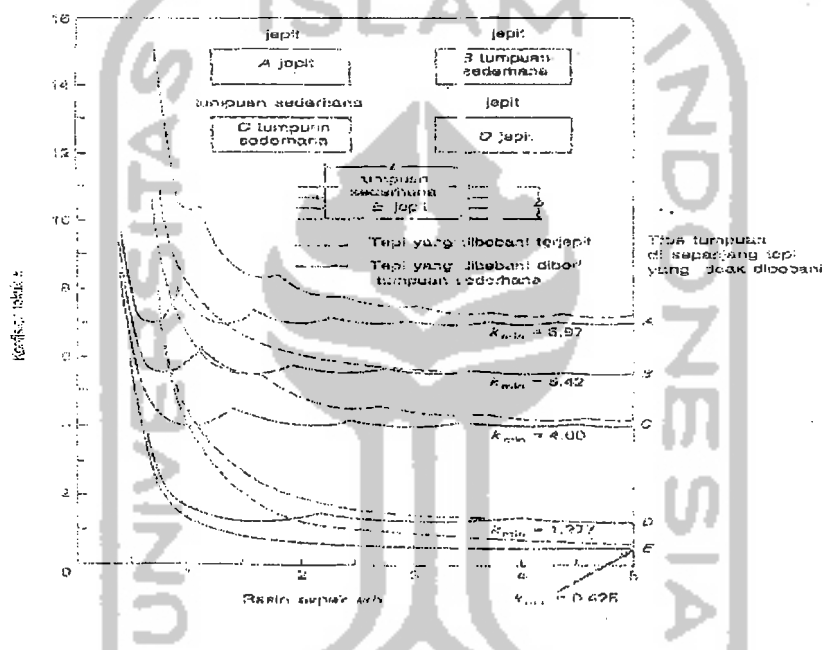
Salmon dan Johnson, 1990, mengemukakan tegangan kritis elastik teoritik untuk pelat yang menerima tekanan merata dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.4)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis , k = koefisien tekuk pelat, E = modulus elastis baja ($2 \cdot 10^5$ Mpa), μ = angka poisson , h/t = rasio tinggi terhadap tebal.

Dari persamaan (3.4) tampak bahwa nilai F_{cr} dipengaruhi oleh koefisien tekuk (k) dan rasio tinggi terhadap tebal (h/t).

Koefisien tekuk pelat (k) dipengaruhi oleh distribusi tegangan dan kondisi tumpuan tepi (tumpuan sederhana pada keempat tepi), serta rasio aspek a/b . Untuk pelat yang menerima tekanan merata nilai k ditunjukkan pada Gambar (3.2).



Gambar 3.4. Koefisien tekuk elastis untuk tekanan merata (Salmon Johnson)

Terlihat bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min} = 6.79$. Untuk plat dengan tumpuan sederhana jepit (B) nilai $k_{min} = 5.42$. Sedangkan plat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai $k_{min} = 4$ dan untuk pelat jepit bebas nilai $k_{min} = 1.277$, serta untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas nilai $k_{min} = 0.425$.

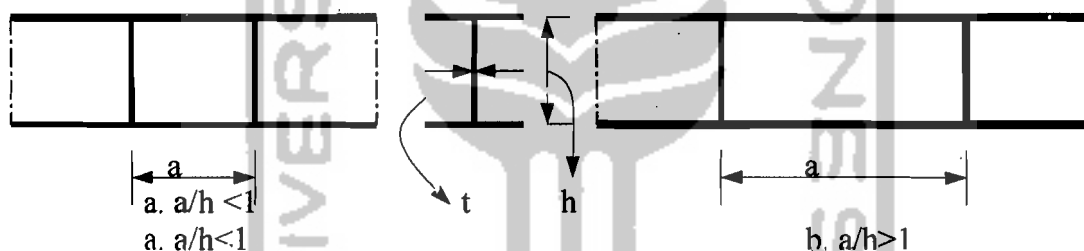
3.2.2. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Timoshenko dan Krieger (1959) Tegangan kritis pelat untuk geser murni adalah :

$$\tau_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2)(\text{sisipendek} / t)^2} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang):

$$k = 5.34 + 4.0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \dots\dots\dots(3.6)$$



Gambar 3.5 Jarak pengaku. (Salmon Johnson)

Untuk perencanaan, Persamaan 3.5 dan 3.6 biasanya ditulis dalam bentuk a/h, dimana a=jarak antar pengaku, h=tinggi badan. Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau yaitu a/h>1 dan a/h<1, sehingga nilai k pada persamaan 3.6 menjadi:

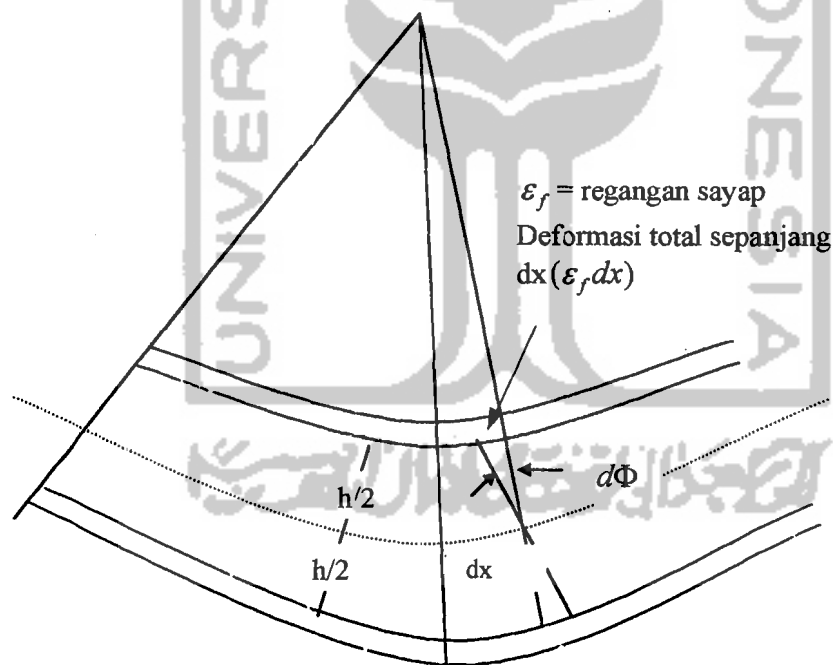
$$k = 4.0 + 5.34/(a/h)^2 \quad \text{Untuk } a/h < 1 \dots\dots\dots(3.7)$$

$$k = 4.0/(a/h)^2 + 5.34 \quad \text{Untuk } a/h > 1 \dots\dots\dots(3.8)$$

Dari kedua persamaan diatas tampak bahwa jika koefisien tekuk pelat dipengaruhi oleh rasio a/h semakin rapat jarak antar pengaku yang berarti nilai a/h semakin kecil maka nilai koefisien tekuk pelat akan semakin besar.

3.2.3. Tekuk Vertikal Pada Sayap

Gelagar yang melengkung, seperti ditunjukkan Gambar 3.6 akan mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap. Apabila badan balok tetap stabil terhadap tegangan tekan tersebut berarti sayap tidak mengalami tekuk vertical.

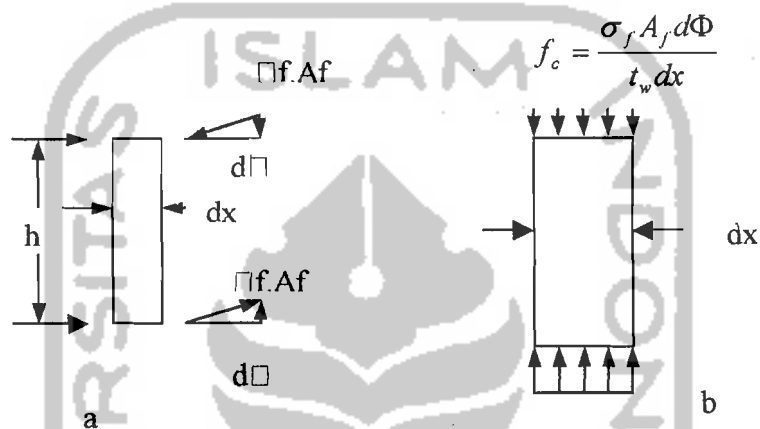


Gambar 3.6 Gaya yang terjadi akibat kurvatur pada gelagar.

Mengacu pada Gambar 3.6 deformasi $\epsilon_f dx$ yang terakumulasi sepanjang jarak dx adalah

$$\epsilon_f dx = d\Phi \frac{h}{2} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$d\Phi = \frac{2}{h} \epsilon_f dx \dots\dots\dots(3.10)$$



Gambar 3.7. tekuk vertical pada badan

Pada Gambar 3.7 a komponen vertical yang menunjukkan tegangan tekan adalah $\sigma_f A_f d\Phi$. Setelah dibagi dengan $t_w dx$ untuk memperoleh tegangan tekan f_c yang diperlihatkan Gambar 3.7 b, Persamaan 3.10. untuk $d\Phi$ dimasukkan sehingga :

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f E_f}{t_w h} \dots\dots\dots(3.11)$$

Tegangan tekuk elastis untuk plat :

$$F_{or} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^3} \dots\dots\dots(3.12)$$

Bila $k=1$ dan persamaan 3.11 disamakan dengan tegangan kritis maka diperoleh:

$$\frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$t_w h = A_w$$

maka

$$\frac{i}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1 - \mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f}\right) \left(\frac{1}{\sigma_f \epsilon_f}\right)} \dots\dots\dots(3.14)$$

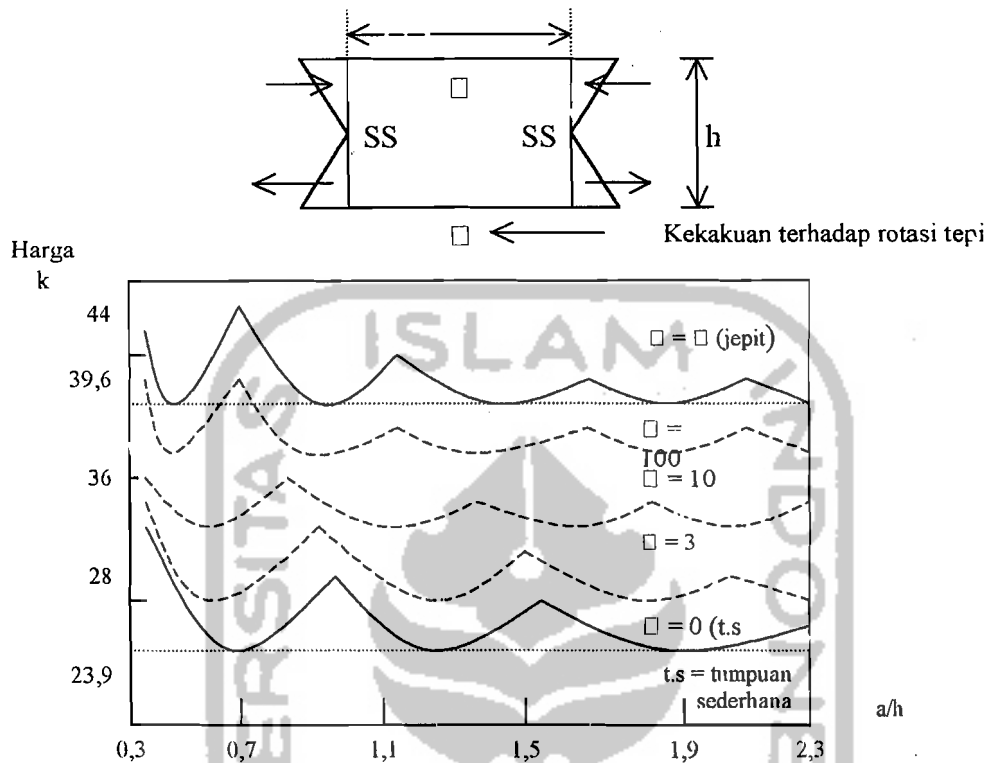
Untuk mencegah tekuk maka nilai $f_c < F_{cr}$

3.2.4. Tekuk Pada Bidang Badan

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)**. Untuk sembarang jenis pembebanan, nilai k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Jika plat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka nilai k min untuk sembarang rasio a/h adalah 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang tepi maka nilai k min 23,9. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.8. Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{MPa} \text{ untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)}$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} \text{MPa} \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)}$$



Gambar 3.8 Koefisien Tekuk Untuk Pelat yang menerima lentur murni

Dengan memasukkan rasio h/t untuk profil I dan profil castella maka dapat diketahui F_{cr} profil I dan profil Castella.

Rasio h/t profil IWF 15 adalah $13.8/0.5=27.6$ dengan anggapan jepit sempurna pada sayap maka nilai F_{cr} untuk profil I 15 adalah:

$$F_{cr} = \frac{7120000}{27.6^2} = 9346.77 \text{ Mpa}$$

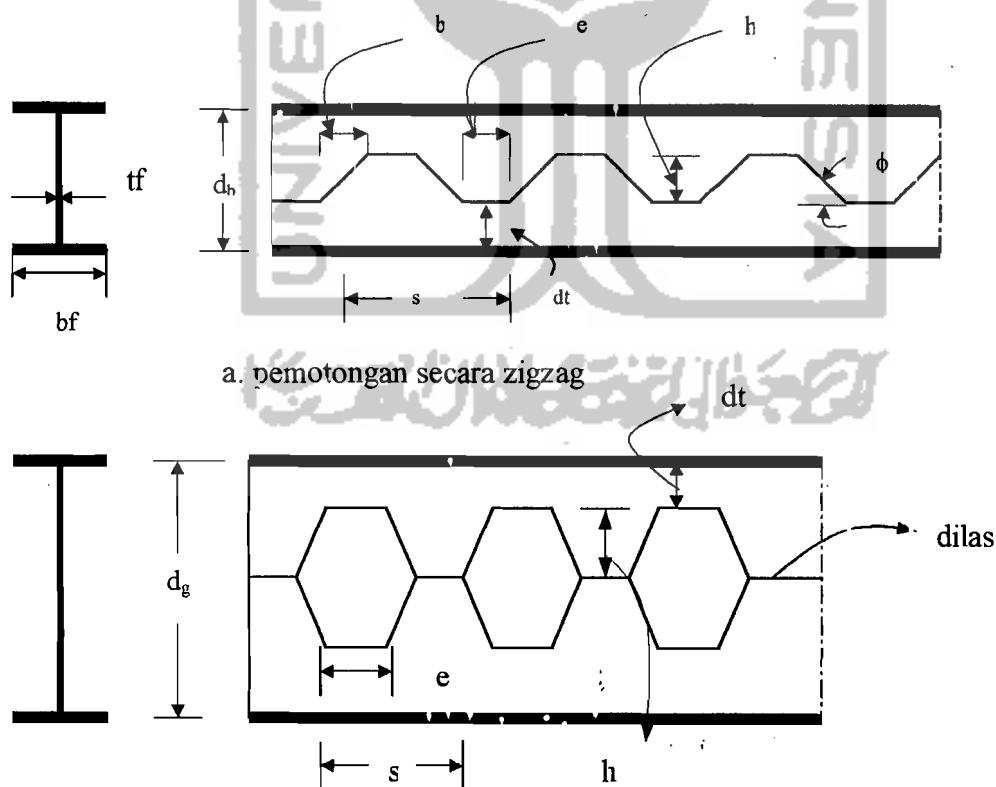
Rasio h/t untuk profil castella adalah $22.8/.5=45.6$ maka nilai F_{cr} adalah:

$$F_{cr} = \frac{7120000}{45.6^2} = 3424.13 \text{ Mpa}$$

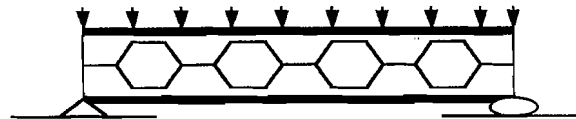
Terlihat bahwa F_{cr} profil castella mengalami penurunan dibandingkan F_{cr} profil I, sehingga dengan meningkatkan profil inersia akan mengalami peningkatan tetapi disisi lain tegangan kritis pelat akan mengalami penurunan.

3.3. Balok castella

Profil castella merupakan pengembangan dari profil I yang dipotong secara zig-zag pada badan profil kemudian kedua potongan tadi disatukan lagi sehingga diperoleh profil baru yang lebih tinggi dan mempunyai lubang pada badannya. Pertambahan tinggi profil menyebabkan rasio kelangsingan badan menjadi lebih besar sebagai contoh profil I 15 nilai h/t yaitu $h/t = 30$, setelah diubah menjadi profil castella maka nilai h/t menjadi 48.



b. profil castella setelah pemotongan dan disatukan
Gambar 3.9a. pembuatan profil castella (*Omer W Blodgett*)



a. profil castella



b. SFD

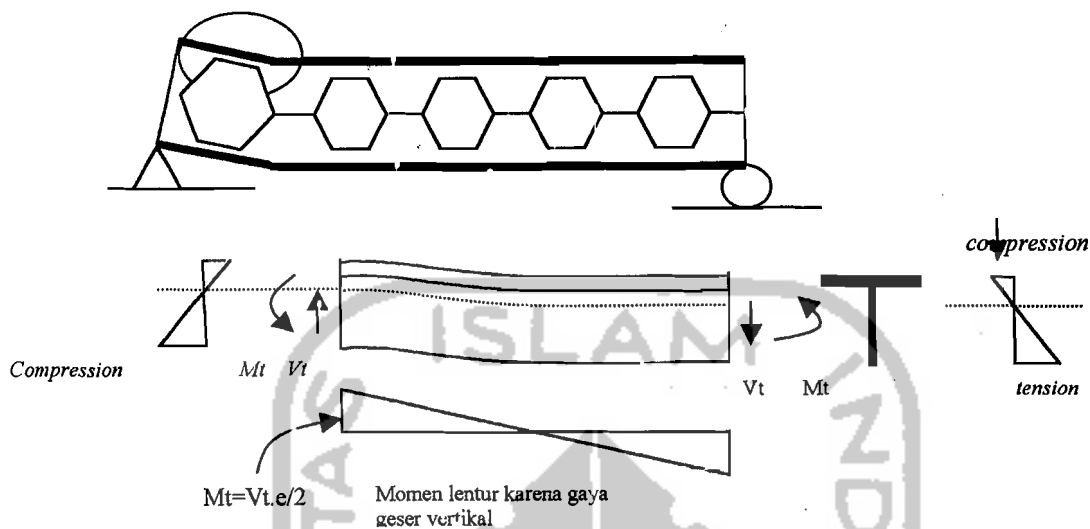


c. BMD

Gambar 3.9b. SFD dan BMD Profil castella (Omer W Blodgett)

Dari Gambar 3.9b terlihat bahwa pada daerah tengah bentang, gaya geser yang terjadi kecil sehingga mempunyai pengaruh yang kecil juga terhadap kekuatan balok castella. Mendekati daerah tumpuan, gaya geser yang terjadi juga semakin besar sehingga pada profil castella akan terjadi momen akibat gaya geser pada penampang T yang harus ditambahkan dengan tegangan lentur akibat beban yang bekerja.

Gaya geser yang bekerja pada penampang T profil castella dapat menyebabkan momen pada penampang T seperti terlihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.10. Momen lentur pada penampang T karena gaya geser vertikal

Gaya dan tegangan yang terjadi pada profil castella dapat dianggap sebagai berikut (*Omer W Blodget*) :

1. Sisi bawah dan atas balok mengalami tegangan tarik dan tegangan tekan akibat momen lentur utama (akibat beban pada balok) yang memenuhi persamaan:

$$f_b = \frac{M}{S_b} \dots \dots \dots (3.15)$$

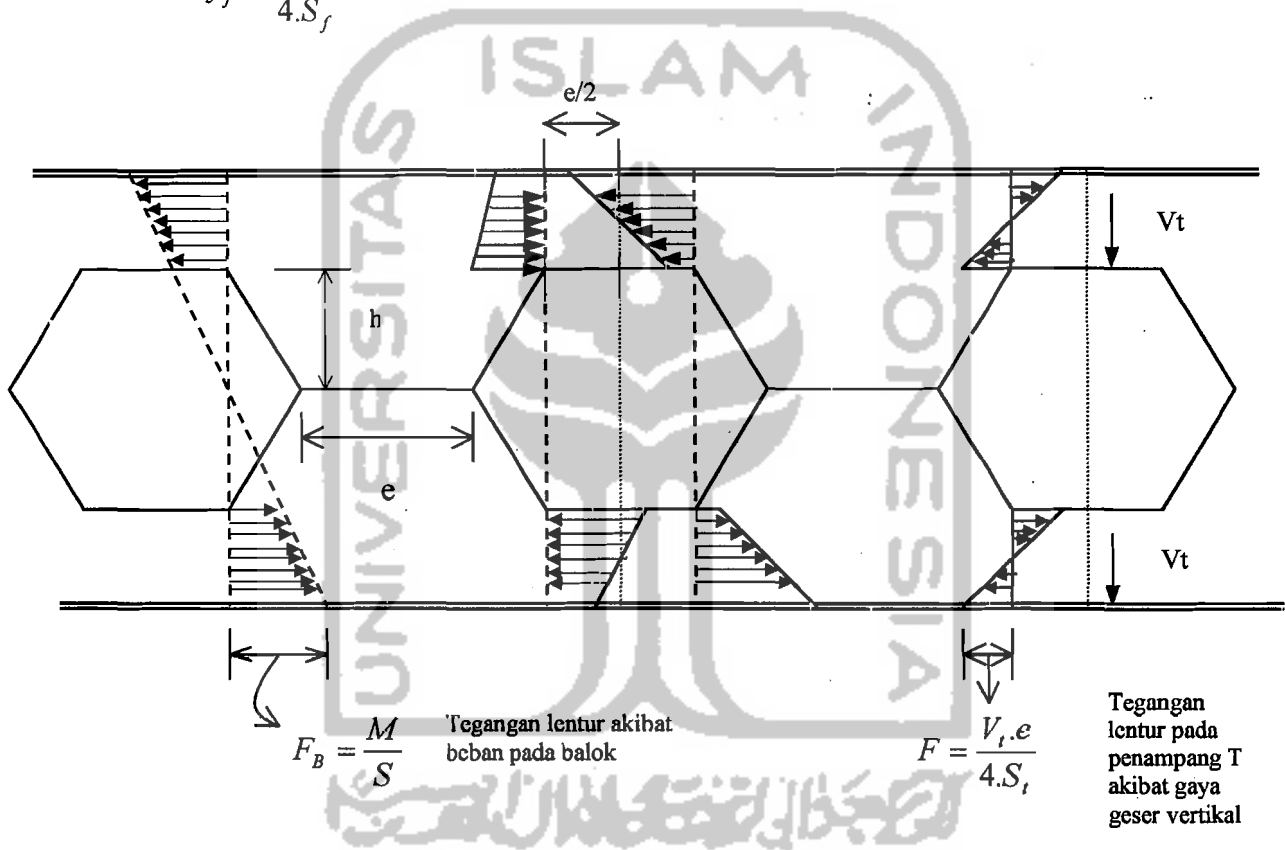
dengan M =momen primer, S_b =*modulus section of Castella*

2. Badan balok memikul gaya geser vertikal akibat beban dan menghasilkan tegangan geser pada badan dan bagian tangkai (*stem*) dari penampang T
3. Pada daerah lubang, gaya geser dibagi dua antara penampang T atas dan bawah. Dengan mengacu kepada Gambar 3.7 dan menganggap geser terjadi pada tengah bagian maka akan menghasilkan momen sebesar:

$$M = \frac{V_t \cdot e}{4} \dots \dots \dots (3.16)$$

Tegangan lentur sekunder yang terjadi adalah:

$$f_f = \frac{V_t \cdot e}{4 \cdot S_f} \dots \dots \dots (3.17)$$



Gambar 3.11 Gaya-gaya pada penampang profil castella (Omer W Blodgett)

Pada penampang T profil castella selain memikul gaya geser yang menyebabkan momen, juga memikul gaya tekan yang disebabkan oleh tegangan lentur seperti terlihat seperti Gambar 3.12 . Sehingga pada penampang T dapat dianggap sebagai balok kolom karena menerima dua gaya yaitu gaya tekan dan gaya

lentur. Dengan demikian pada penampang T berlaku rumus interaksi balok kolom AISC (AISC 9th Edition) sebagai berikut:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{Cm.fb}{\left(1 - \frac{fa}{Fe'}\right)} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\frac{fa}{0.6Fy} + \frac{fb}{Fb} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

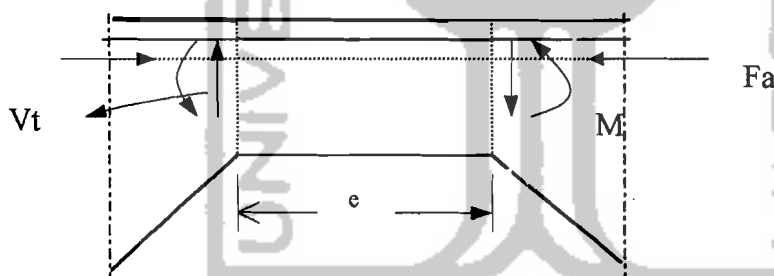
dengan

$$Fe' = \frac{12.E.\pi^2}{23(KL/r)^2} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

dan

$$Cm = 0.6 - \frac{0.4M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

Dengan Fe' adalah tegangan tekuk Euler, dan Cm adalah factor reduksi momen.



Gambar 3.12 Penampang T profil Castella(Omer W Blodgett)

Kombinasi tegangan lentur primer dan sekunder memenuhi persamaan (3.16)

$$F_{tot} = \frac{M}{S_g} + \frac{V.e}{4.S_T} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

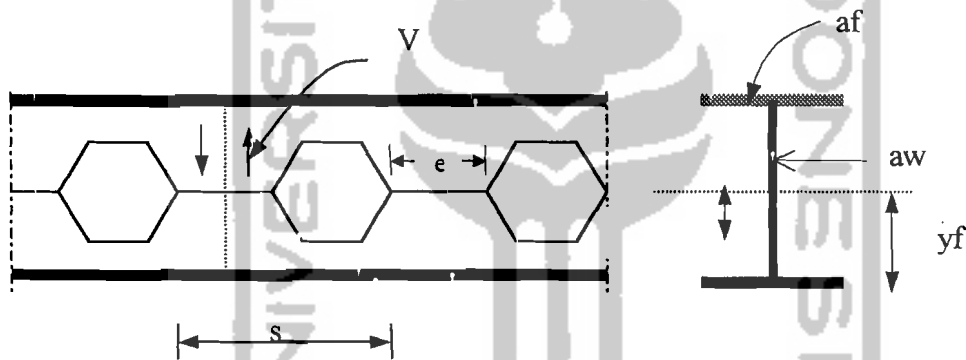
3.4. Tegangan Geser Horizontal Profil Castella

Untuk menghitung tegangan geser horizontal sepanjang garis netral balok terdapat beberapa cara diantaranya (*Omer W Blodgett*):

1. Dengan menggunakan rumus umum tegangan geser dengan anggapan badan

balok tidak berlubang $\tau = \frac{V \cdot a \cdot y}{I t}$, kemudian menaikkan tegangan ini dengan rasio badan secara keseluruhan dengan bagian badan yang tidak berlubang (s/e).

Perhatikan Gambar 3.13 dibawah:



Gambar 3.13 Gaya geser Horizontal pada profil castella (*OmerWBlodgett*)

Sehingga persamaan tegangan geser menjadi

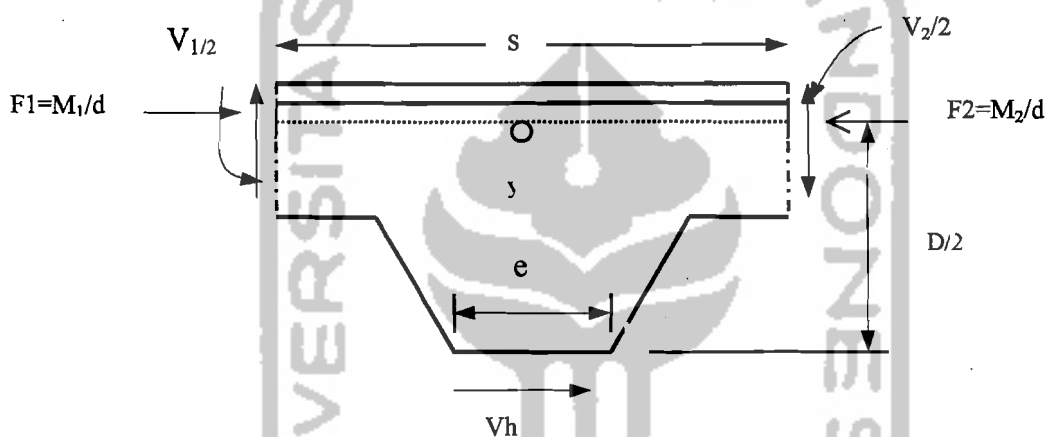
$$\tau_h = \frac{V \cdot a_y \left(\frac{s}{e} \right)}{I t} = \frac{V \cdot (a_f \cdot y_f + a_w \cdot y_w) \left(\frac{s}{e} \right)}{I t_w} \dots\dots\dots(3.23)$$

2. Dengan memperlakukan bagian atas dari balok sebagai *free body* yang mengalami momen lentur. Perbedaan besar gaya yang terjadi pada ujung-ujungnya disalurkan sepanjang garis netral sebagai tegangan geser horizontal seperti Gambar 3.13.

Tegangan geser horizontal kemudian dibagi dengan bagian padat dari badan sepanjang garis netral.

$$V_h = \frac{M_2 - M_1}{d}$$

$$\tau_h = \frac{M_2 - M_1}{d \cdot e \cdot t_w}$$



Gambar3.15 tegangan geser pada profil castella(OmerW Blodgett)

3. Dengan menggunakan *free body* yang sama dihitung momen dari titik y didapat:

$$\frac{V_1}{2} \left(\frac{s}{2} \right) + \frac{V_2}{2} \left(\frac{s}{2} \right) - V_h \cdot \frac{d}{2} = 0 \dots\dots\dots(3.24)$$

Dengan menganggap $(V_1+V_2)/2=V_x$, maka tegangan geser rata-rata menjadi:

$$V_h = V_x \left(\frac{s}{d} \right) \dots\dots\dots(3.25)$$

Sehingga tegangan geser horizontal menjadi:

$$\tau_h = \frac{V_h}{t_w \cdot e} \dots\dots\dots(3.26)$$

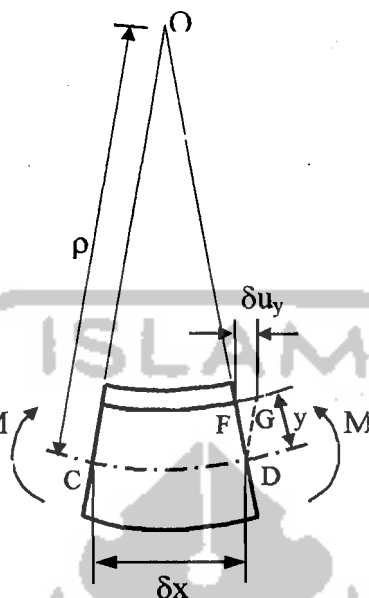
3.5. Hubungan Momen Kelengkungan

Tung Au dan Christiano, 1987, mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). Memperhatikan elemen kecil δx , seperti ditunjukkan pada Gambar (3.16). Jika y sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur σ pada serat sejauh y dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis linier adalah sebagai berikut :

$$f = -\frac{My}{I} \quad (3.27)$$

dengan M adalah momen pada bagian tersebut dan I adalah momen inersia tampang. Tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Gambar (3.16) menunjukkan perpotongan O disebut dengan pusat kelengkungan (*center of curvature*) dan jarak sejauh ρ dari perpotongan O menuju sumbu netral disebut dengan jari-jari kelengkungan (*radius of curvature*). Untuk serat pada jarak sejauh y dari sumbu netral, panjang awal dari elemen δx memendek menjadi δu_y , dan regangan pada serat tersebut sama dengan $\epsilon = \delta u_y / \delta x$. Dengan δx mendekati nol.

$$\epsilon = -\frac{du_y}{dx} \quad (3.28)$$



Gambar 3.15. Deformasi balok dalam lenturan

dari segitiga OCD dan FGD didapatkan

$$\frac{\delta u_y}{y} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{du_y}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad (3.29)$$

dari persamaan (3.28) dan (3.29) didapat :

$$\epsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.30)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \epsilon E = -\frac{Ey}{\rho} \quad (3.31)$$

dengan menyamakan persamaan (3.27) dan (3.31), hubungan momen kelengkungan

dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.32)$$

Pada dasarnya hubungan gaya-deformasi dengan M adalah gaya dan kelengkungan $1/\rho$ merupakan hasil dari perubahan bentuk. Besaran EI sebagai faktor kekakuan (*flexural rigidity*) atau *bending stiffness* dari balok. Dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.33)$$

karena kemiringan dy/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

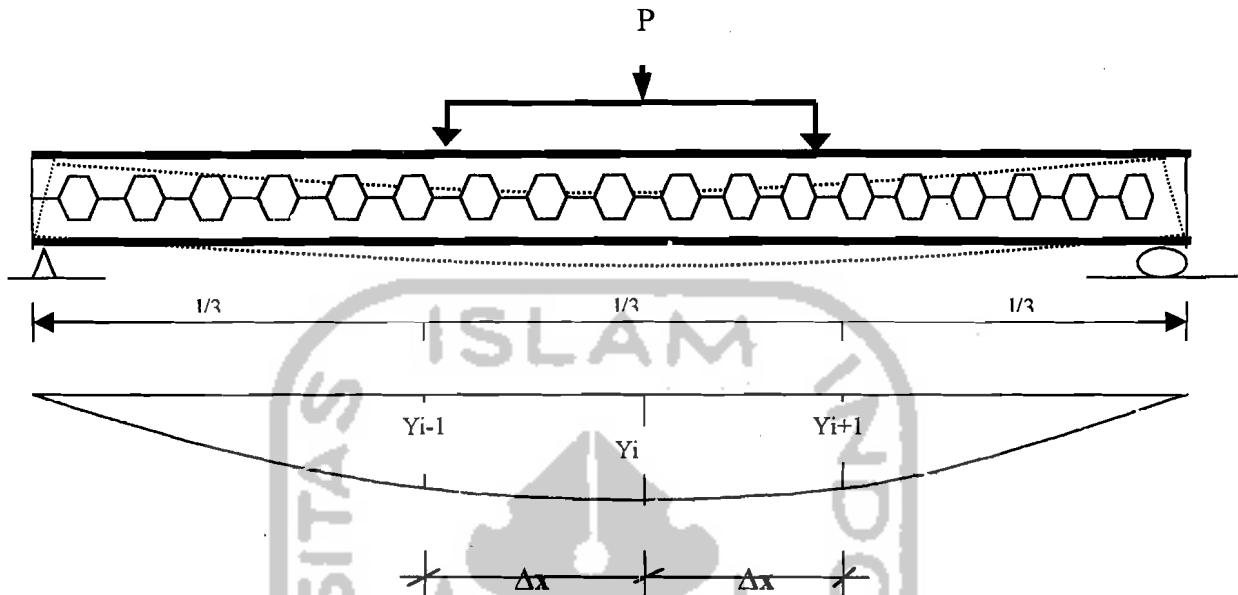
$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$$

Sehingga persamaan (3.33) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.34)$$

Dari pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik-titik distrik seperti pada Gambar (3.16) *Fatkhurrahman N., 1991*, mengemukakan pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*.

Mengacu pada Gambar (3.16).



Gambar 3.16. Defleksi pada balok badan terbuka

turunan pertama didekati dengan

(3.35)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x}$$

(3.36)

turunan kedua didekati dengan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{u}{v} = \frac{u'v - v'u}{v^2}$$

(3.37)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{2\Delta x \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2}$$

$2\Delta x$ adalah konstanta

$$\text{sehingga } \frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0$$

(3.38)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{2\Delta x^2}$$

(3.39)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi \quad \text{sehingga}$$

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{2\Delta x^2}$$

(3.40)

Dari persamaan (3.34) tampak bahwa kelengkungan dapat dicari dengan bantuan tiga titik seperti ditunjukkan pada Gambar (3.16). Mengacu pada Gambar (3.16) didapat momen maksimum(M) sebesar :

$$M = \frac{1}{6}PL \quad (3.41)$$

Dengan mengacu pada persamaan (3.28) dan (3.35) akan didapat hubungan momen dengan kelengkungan sebagai berikut.

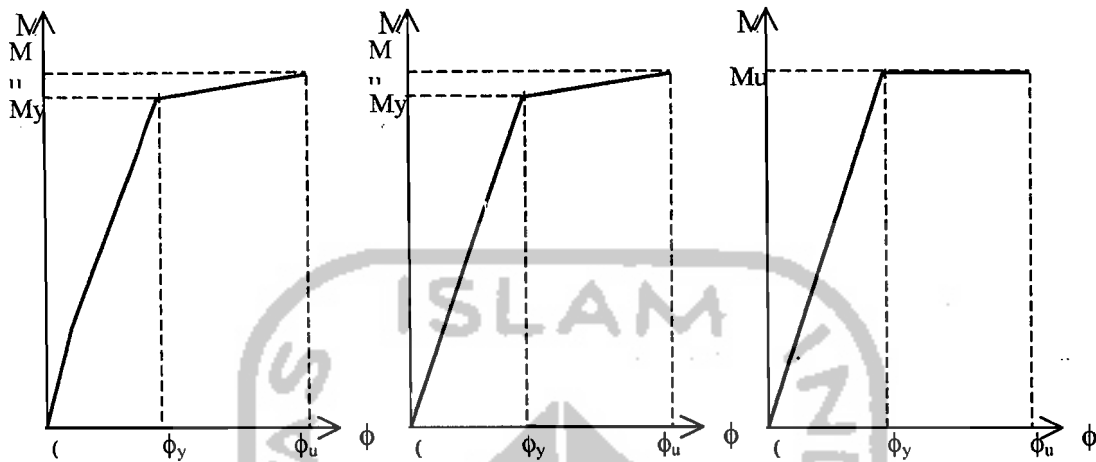
$$EI = \frac{M}{\phi} \quad (3.42)$$

$$M = EI\phi \quad (3.43)$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.44)$$

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\phi$) yang ideal menurut *Park dan Paulay, 1975*, ditunjukkan pada grafik tri-linier, kemudian berubah menjadi kurva bilinier.

Pada saat pembebanan telah tercapai pada P_{\max} dan terjadi momen batas yang menimbulkan mekanisme keruntuhan maka penampang ini akan terus berdeformasi tanpa menghasilkan daya tahan tambahan. Sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya setelah itu keadaan tidak stabil dan lendutan tidak terkendali Gambar (3.17).



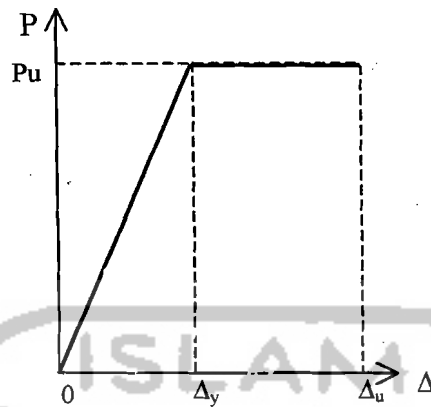
Gambar 3.17. Hubungan Momen (M) dan kelengkungan (ϕ).

3.6. Daktilitas

Englekirk, 1994, mengemukakan bahwa suatu bahan dikatakan daktil ketika bahan tersebut dapat menahan deformasi purna luluh. Daktilitas (μ) didapatkan dengan membagi deformasi yang telah dicapai dengan deformasi pada saat luluh.

Menurut *Park dan Paulay, 1975*, daktilitas merupakan rasio dari deformasi ultimit dengan deformasi pada saat pertama luluh.

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan, maka daktilitas simpangan dapat dicari dari grafik hubungan beban-lendutan seperti ditunjukkan pada Gambar (3.18) yaitu perbandingan antara Δ_u dan Δ_y .



Gambar 3.18. Grafik hubungan beban-lendutan

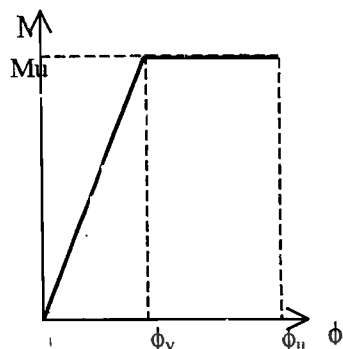
$$\mu_{\text{simpangan}} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3.45)$$

dimana : $\mu_{\text{simpangan}}$ = daktilitas simpangan

Δ_u = lendutan akhir daerah *post-elastic*

Δ_y = lendutan pada pertama leleh

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari grafik hubungan momen-kelengkungan, seperti ditunjukkan pada Gambar (3.18) yaitu perbandingan antara ϕ_u dan ϕ_y .



Gambar 3.19. Grafik hubungan momen-kelengkungan

$$\mu_{\text{kelengkungan}} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.46)$$

dimana : $\mu_{\text{kelengkungan}}$ = daktilitas kelengkungan

ϕ_u = kelengkungan pada akhir daerah *post-elastic*

ϕ_y = kelengkungan pada pertama leleh

3.7 Hipotesa

Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka, dan landasan teori maka :

1. Penambahan perkuatan akan meningkatkan tegangan kritis pelat.
2. Balok castella dengan perkuatan mempunyai kapasitas lentur lebih besar dibanding dengan balok castella tanpa perkuatan